

REFLECTION MIRROR AND ITS PRODUCTION METHOD

Patent Number: JP8068898
Publication date: 1996-03-12
Inventor(s): MURAKAMI KATSUHIKO
Applicant(s): NIKON CORP
Requested Patent: ☐ JP8068898
Application Number: JP19940203921 19940829
Priority Number(s):
IPC Classification: G21K1/06; G02B5/08; H01L21/027
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide a reflection mirror capable of suppressing thermal distortion due to X-ray irradiation and the like low enough.

CONSTITUTION: Provided are a base 1 made of Invar having linear thermal expansion coefficient of 1×10^{-7} /K or less and a thin film 2 of glass which is formed on the surface of the base 1 and its surface is polished optically smoothly. In the case used for an X-ray optical system, multiple layer film 4 reflecting X-ray of specific wave length is formed on the surface of the thin film 2.

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-68898

(43) 公開日 平成8年(1996)3月12日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
G 2 1 K 1/06		B		
G 0 2 B 5/08		A		
		C		
H 0 1 L 21/027				
			H 0 1 L 21/ 30	5 3 1 A
			審査請求 未請求	請求項の数7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-203921

(22) 出願日 平成6年(1994)8月29日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 村上 勝彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

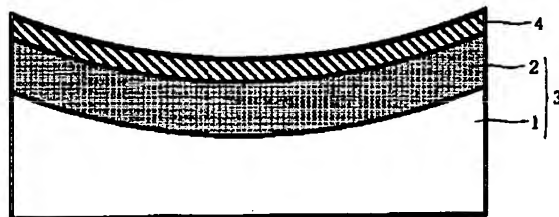
(74) 代理人 弁理士 永井 冬紀

(54) 【発明の名称】 反射鏡およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 X線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡を提供する。

【構成】 線膨張率が $1 \times 10^{-7} / K$ 以下であるインバ一製の基板1と、この基板1の表面に形成され表面を光学的に平滑に研磨されたガラス製薄板2とを備える。X線光学系に使用する場合には、薄板2の表面に所定波長のX線を反射する多層膜4を形成する。



- 1 : 金属製基板
- 2 : ガラス製薄板
- 3 : 基板
- 4 : 多層膜

【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属製基板と、この金属製基板の表面に貼り合わされ表面を光学的に平滑に研磨されたガラス製薄板とを具備することを特徴とする反射鏡。

【請求項2】 前記金属製基板の線膨張率が 1×10^{-7} /K以下であることを特徴とする反射鏡。

【請求項3】 前記金属製基板はインバー型合金で形成されることを特徴とする請求項1または2に記載の反射鏡。

【請求項4】 線膨張率が 1×10^{-7} /K以下である金属製基板と、この金属製基板の表面に貼り合わされ表面を光学的に平滑に研磨されたガラス製薄板と、このガラス製薄板に形成され所定の波長のX線を反射する多層膜とを具備することを特徴とする反射鏡。

【請求項5】 請求項1の反射鏡の製造方法において、少なくとも、金属製基板とガラス製薄板とを張り合わせる工程と、該ガラス薄板の表面を光学的に平滑な表面に研磨する工程とを含むことを特徴とする反射鏡の製造方法。

【請求項6】 請求項4の反射鏡の製造方法において、少なくとも、金属製基板とガラス製薄板とを張り合わせる工程と、該ガラス薄板の表面を光学的に平滑な表面に研磨する工程と、研磨工程の後に前記薄板の表面に所定の波長のX線を反射する多層膜を形成する工程とを含むことを特徴とする反射鏡の製造方法。

【請求項7】 金属製基板とガラス製基板とを陽極接合により接合することを特徴とする請求項5または6に記載の反射鏡の製造方法。

【特許請求の範囲】

【0001】

【発明の詳細な説明】

本発明は、X線縮小投影露光装置等のX線光学系やX線以外の波長域の光線の光学系に用いられる反射鏡およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わってこれより波長の短いX線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は、主としてX線源、照明光学系、マスク、結像光学系、ウェファーステージ等により構成される。

【0003】X線源には、放射光光源またはレーザープラズマX線源が使用される。照明光学系は、斜入射ミラー、多層膜ミラー、および所定の波長のX線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上を所望の波長のX線で照明する。マスクには透過型マスクと反射型マスクとがある。透過型マスクは、X線を良く透過する物質からなる薄いメンブレンの上にX線を吸収する物質を所定の形状に設けることによってパター

ンを形成したものである。一方、反射型マスクは、例えばX線を反射する多層膜上に反射率の低い部分を所定の形状に設けることによってパターンを形成したものである。このようなマスク上に形成されたパターンは、複数の多層膜ミラーで構成された投影結像光学系により、フォトリソストが塗布されたウェファア上に結像してそのレジストに転写される。なお、X線は大気中に吸収されて減衰するため、その光路は全て所定の真空中に維持されている。

【0004】X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また物質表面での反射率も非常に低いため、レンズやミラーなどの通常の光学素子が使用できない。そのため、X線用の光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を全反射を利用して反射させる斜入射ミラーや、多層膜の各界面での反射光の位相を一致させて干渉効果によって高い反射率を得る多層膜ミラー等により構成されている。

【0005】斜入射光学系は収差が大きいため回折限界の解像力を得ることはできない。一方、多層膜ミラーはX線を垂直に反射することが可能であり、回折限界のX線光学系を構成することが可能である。したがって、X線投影露光装置の結像光学系は、すべて多層膜ミラーで構成される。

【0006】このようなX線多層膜ミラーは、シリコンのL吸収端(12.3nm)の長波長側でモリブデンとシリコンからなる多層膜を用いたときに最も高い反射率を得られるが、波長13~15nmでは入射角によらず70%程度である。シリコンのL吸収端よりも短波長側では、垂直入射で30%以上の反射率を得られる多層膜は開発されていない。多層膜ミラーの基板材料には、形状精度が高く表面粗さの小さい加工が可能な、石英等のガラス材料が用いられている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のようなX線投影露光装置において、実用的なスループット(例えば、8インチウェファアで30枚/1時間程度)を得るためには、結像光学系を構成する多層膜ミラーの表面には、ある程度の強度のX線(例えば、10mW/cm²程度)が照射される必要がある。一方、多層膜ミラーの反射率は最も高くても70%程度であり、残りは多層膜で反射されずに吸収、透過、散乱される。散乱による損失はわずかであり、多層膜を透過したX線はミラー基板により完全に吸収される。すなわち、多層膜ミラーで反射されなかったX線の大部分は多層膜ミラーに吸収されて、そのエネルギーは熱に変換される。この熱によって多層膜ミラーの温度が上昇して熱変形を生じることになる。

【0008】一般に、光学系で回折限界の解像力を得るためには、光学系を構成するミラーやレンズの形状誤差は使用する光の波長に比べて充分小さくしなければなら

視光や紫外線を用いた光学系よりも、波長が短い分だけその許容誤差は厳しくなる。そのために、上記のようなX線の照射による多層膜ミラーの熱変形は、結像特性に大きな影響を与えることになり設計通りの解像力が得られなくなるおそれがある。

【0009】このような熱変形の影響を防ぐために、裏面からミラーを冷却することが行われているが、十分な効果を得ることはできない。また、X線光学系は真空中で使用されるので、ミラーの表面からの放熱はほとんど無い。

【0010】したがって、熱変形の影響を防ぐためにはミラーへ入射するX線の強度を制限する他はなく、そうするとX線投影露光装置のスループットが制限されてしまう。すなわち、従来の技術ではX線投影露光装置の高解像力と高スループットとを両立することができない。

【0011】以上ではX線光学系についてその問題点を説明したが、反射鏡の熱変形にともなう問題は、X線の波長域とは異なる波長域の光線を使用する光学系でも程度の差はあっても生じる。

【0012】本発明は、X線などの照射光による熱変形を充分小さく抑えることのできる反射鏡とその製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【発明の概要】まず、X線光学系に使用する反射鏡を一例として説明する。多層膜ミラーの表面にX線が照射されたときのミラー表面の変形がどの程度の量になるかを*

$$\Delta x = \int \Delta(\delta x) = \alpha \int_0^d T(x) dx = \frac{\alpha Q}{\lambda} \int_0^d x dx = \frac{\alpha Q d^2}{2\lambda} \quad \dots (3)$$

となる。

【0015】図3に、種々の材料について、熱伝導率と、熱膨張係数と、式(3)により計算した基板の熱変形 Δx とを示す。基板へ投入される熱流束 Q は10mW/cm²とした。X線投影露光装置において実用的な露光領域の寸法を確保するためにはミラーの直径は200mm程度は必要であり、ミラーの形状を精度良く維持するためには一般に厚さは直径の四分の一程度必要であるので、基板の厚さ d は50mmとする。図3からわかるように、紫外光を用いた投影露光装置の屈折光学系に広く用いられている熔融石英では、45.3nmもの変形を生じてしまう。これでは、使用するX線の波長(例えば13nm)よりも何倍も大きくなってしまふので論外である。

【0016】一般に低熱膨張ガラスとして良く知られているショット社のゼロジュアとコーニング社のULEは、熱膨張率は小さいが、ガラスであるため熱伝導率は小さい。一方、シリコンカーバイド(SiC)とシリコン(Si)は、ガラスと比べて熱伝導率は大きい、熱膨張係数は大きい。これらの材料は、いずれも1~数nmの変形を生じることになる。

*説明する。実際のミラーの変形は、その寸法形状により大きく異なるので、正確に見積もるには有限要素法等による計算が必要であるが、ここでは以下のような単純化により変形のおおよその値を見積もることとする。

【0014】図2(a)に示すように、厚さ d の基板の裏面が一定温度の熱浴(裏面を冷却して一定温度に保つことに相当する)に接しており、その表面の一部に定常的な熱流束 Q (照射されたX線のうち反射せずに基板に吸収される分のエネルギー)が投入された時の、その部分の基板に垂直方向(x 方向)の伸び(または縮み) Δx を考える。ここでは、横方向の熱伝導は考えず、また、X線はすべて表面で吸収されるとする。このとき基板の内部には、図2(b)に示すように、 x 方向に様な温度勾配が生じるので、位置 x での温度(熱浴との温度差) $T(x)$ は、

【数1】

$$T(x) = \frac{Q}{\lambda} x \quad \dots (1)$$

ただし、 λ は波長で与えられる。基板内の厚さ δx の薄い層の伸び $\Delta(\delta x)$ は、

【数2】

$$\Delta(\delta x) = \alpha \cdot T(x) \cdot \delta x \quad \dots (2)$$

で与えられる。 α は基板材料の熱膨張係数(線膨張率)である。したがって、基板全体の伸び Δx は、

【数3】

【0017】光学系の波面収差を波長の四分の一以内とするレイリーの条件を用いると、光学系を構成するミラー一枚あたりの形状精度は、

【数4】

$$\left(\frac{\lambda}{4} \times \frac{1}{2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{n}} \quad \dots (4)$$

以内に抑えなければならない。 n は光学系を構成するミラーの枚数であり、 $1/2$ を掛けてあるのは反射系であるためである。例えば4枚のミラーで構成された光学系を波長13nmで使用する場合、1枚のミラーに許容される形状誤差は0.81nmとなる。ゼロジュア、ULE、SiC、Siを基板に用いた場合には、熱変形量はいずれもこの値よりも大きくなってしまふ。したがって、これらの材料を基板に用いたミラーで構成した光学系では回折限界の解像力を得ることはできない。

【0018】金属は自由電子の寄与のために熱伝導率は大きい、一般に熱膨張係数も大きい。しかし、インバー(Invar)型合金は磁歪の影響により著しく小さな熱膨張係数を示す材料として知られており、具体的には、Fe-Ni合金、Fe-Ni-Co合金、Fe-Co-Cr合金、Fe-Pt合金、Fe-Pd合金、Zr-Nb-Fe合金、Cr-Fe-Sn合金、Mn-Ge-Fe合

金、Fe-B非晶質合金およびFe-Ni-Zr非晶質合金等がある。以下では、インバー型合金をインバーと称する。図3より、インバーを基板に用いれば、X線照射による熱変形量は0.1nm以下となり、上記の許容形状誤差と比べて充分小さく抑えることが可能である。

【0019】しかしながら、金属は微細な結晶粒界が存在するためその表面をナノメートルオーダーの平滑な表面に研磨することは困難である。Alan G. Michette著のOptical Systems for X Rays (1986 Plenum Press, New York) の74頁に、X線用のミラー材料の候補となる物質について研磨加工により得ることできる表面粗さが記されている。それによると、各材料で得られた最小の表面粗さのrms値(二乗平均値)は、熔融石英とCVD (Chemical Vapor Deposition) 法で作製したSiCで最も小さく0.4nmである。これらの材料は微細構造を持たない非晶質物質なので平滑な表面を得ることができる。しかし、金属であるインバーでは2.8nm程度の表面粗さまでにしか加工することができない。

【0020】X線用の多層膜ミラーの基板に必要な表面粗さの大きさは次式により見積もることができる。

【数5】

$$R = R_0 \exp \left\{ - \left(\frac{4\pi \sigma \sin \theta}{\lambda} \right)^2 \right\} \quad \dots (5)$$

ただし、 R_0 は表面粗さが無いときの反射率

R は表面粗さによる散乱損失があるときの反射率

σ は表面粗さのrms値

λ はX線の波長

θ は斜入射角

$\lambda = 1.3 \text{ nm}$ 、 $\theta = 90^\circ$ (垂直入射) としたときの、表面粗さ σ に対する R/R_0 の値を図4に示す。この図より明らかなように、表面粗さ0.4nmのSiCや熔融石英を多層膜ミラーの基板に使用すれば、粗さが無い理想の場合の9割近い反射率が得られるが、表面粗さ2.8nmのインバーを基板に使用した場合にはX線は全く反射なくなってしまう。

【0021】そこで本発明者らは、鋭意検討の結果、熱変形の小さいインバーなどの金属製基板の表面に表面粗さの小さいガラスを貼り合わせれば、熱変形と表面粗さのいずれも充分に小さいミラー基板を得ることができることを見出した。すなわち、本発明によるX線光学系用反射鏡は、図1に示すように、インバー等の金属製基板1の上にガラス製基板2を貼り合わせて基板3を作製し、その上にX線を反射する多層膜4を形成して構成される。この場合、熱変形を小さく抑えるためには、上側(X線の入射してくる側)の材料の熱膨張係数が小さいことと、下側の材料の熱伝導率が大きいことが有効である。

【0022】図5に、インバーの表面に各種のガラスを貼り合わせた基板の熱変形 Δx を示す。図3と同様に、基板に投入される熱流束 Q は 10 mW/cm^2 、基板全

体の厚さは50mmとした。インバーに厚さ20mm以下のULEを貼り付けた場合と、インバーに厚さ5mm以下のゼロジュアを貼り付けた場合には、許容される形状誤差よりも熱変形を充分小さく抑えることができる。熔融石英を貼り付ける場合は厚さを1mm以下にしなければならないので、インバーに貼り付けるガラスはULEやゼロジュア等の低熱膨張ガラスが望ましい。なお、X線用反射鏡として使用するためには、この表面にさらにX線を反射するための多層膜を形成するが、この多層膜の厚さは0.数 μm 以下しかないので、その熱変形は無視することができる。

【0023】インバー等の金属にガラスを貼り付ける際には、界面の熱接触が良好であることが必要である。接着剤を用いて貼り付ける場合には、熱伝導率の良好な接着剤を使用することが望ましい。金属とガラスを貼り合わせるのに最も好ましい方法は、例えばJ. Appl. Phys., 40(1969)P3946に記載されている、陽極接合による方法である。この方法は、図6に示すように金属とガラスを接触させておき、金属側に正の電圧を印加して、界面に生じた静電力によって両者を接合するものである。この方法を用いれば、金属とガラスとは原子レベルで密着するので、熱接触は非常に良好であり接合の強度も高い。

【0024】

【実施例】以下、本発明による反射鏡の一実施例を説明する。図1は、本発明の第1の実施例である反射鏡の図である。本実施例では、インバー1にULE2を貼り付けるとともに、ULE2の表面に多層膜4を形成することにより、直径200mm、曲率半径500mm、中心厚さ50mmのX線多層膜反射ミラーを作製した。その製造工程を順に説明する。

【0025】まず、インバーを研削加工して直径200mm、中心厚さ30mm、表面が曲率半径500mmの凹面で裏面が平面の金属製基板1を作製した。表面(ガラスを接合する面)は、電解研磨加工により、表面粗さ10nm(rms)以下の鏡面に仕上げた。これに貼り付けるガラス製基板2は、材料にULEを用い、研削加工と研磨加工により直径200mm、厚さ20mmで両面が曲率半径500mmの凹面と凸面になるように加工した。表面粗さは両面とも10nm(rms)以下の鏡面に仕上げた。

【0026】次に、図6に示すような装置を用いて、この金属製基板1とガラス製基板2を陽極接合した。ヒーター5の上に金属製基板1を置き、その上にガラス製基板2を載せた。ヒーター5によりこれらを400℃に加熱しておき、ガラス製基板2の表面に図のように電極6を接触させ、直流電源7により金属製基板1とガラス製基板2の間に1000Vの電圧を印加した。約5分間電圧を印加し続けると金属製基板1とガラス製基板2は完全に接合した。その後、ガラス製基板2の表面の仕上げ研磨を行って、表面粗さが0.4nm(rms)になる

7

まで平滑にした。このようにして、インバーからなる金属製基板1とULEからなるガラス製基板2を貼り合わせた反射鏡用の基板3を作製した。

【0027】最後に、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン(Mo)とシリコン(Si)からなる周期長6.7nm、積層数50層の多層膜4を基板3の表面に形成してX線多層膜ミラーを完成した。この多層膜ミラーは、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、10mW/cm²の熱流束がその全面あるいは一部に入射しても、熱変形は0.3nm以下であるので、波長13nmのX線を用いて回折限界の光学系を構成することができる。

【0028】図7は、本発明の第2の実施例である反射鏡の図である。本実施例では、インバー1にゼロジョア2Aを貼り付けるとともに、ゼロジョア2Aの表面に多層膜4を形成することにより、直径200mm、曲率半径1000mm、中心厚さ50mmのX線多層膜反射ミラーを作製した。その製造工程を順に説明する。

【0029】まず、インバーを研削加工して直径200mm、中心厚さ45mmの円盤状の金属製基板1を作製した。表面(ガラスを接合する面)は、電解研磨加工により、表面粗さ10nm(rms)以下の鏡面に仕上げた。これに貼り付けるガラス製基板2は、材料にゼロジョアを用い、研削加工と研磨加工により直径200mm、中心厚さ5mmで、表面が曲率半径1000mmの凹面で裏面は平面になるように加工した。表面粗さは両面とも10nm(rms)以下の鏡面に仕上げた。

【0030】次に、図6に示すような装置を用いて、上述したと同様にして金属製基板1とガラス製基板2Aを陽極接合し、さらにその表面の仕上げ研磨を行って、表面粗さが0.4nm(rms)になるまで平滑にした。このようにして、インバーからなる金属製基板1とゼロジョアからなるガラス製基板2Aを貼り合わせた反射鏡用の基板3を作製した。

【0031】最後に、上述したと同様にして、イオンビームスパッタリングにより、モリブデン(Mo)とシリコンカーバイド(SiC)からなる周期長6.7nm、積層数50層の多層膜4を基板3の表面に形成してX線多層膜ミラーを完成した。この多層膜ミラーも第1の実施例と同様に、裏面を冷却して一定温度に保っておけば、10mW/cm²の熱流束がその全面あるいは一部に入射しても、熱変形は0.3nm以下であるので、波長13nmのX線を用いて回折限界の光学系を構成することができる。

【0032】なお、以上の実施例では金属製基板とガラス製基板を貼り合わせるのに陽極接合を用いたが、本発明はこれに限定されることはなく接着剤等で貼り付けてもかまわない。また、金属製基板1の材料はインバーに限定されないが、X線光学系用反射鏡として使用する場

8

合には、熱膨張係数は $1 \times 10^{-7}/K$ 以下であることが必要である。ガラス製基板2の材料もULEとゼロジョアに限定されない。低熱膨張ガラスであることが望ましいが、熱膨張係数がそれほど小さくない材料を使用する場合には厚さを薄くすれば良い。

【0033】なお、以上ではX線縮小投影露光装置の光学系に用いる反射鏡を一例として説明したが、それ以外のX線光学系反射鏡にも適用できる。また、X線の波長域と異なる波長域の紫外光や赤外光などに用いる光学系の反射鏡として使用しても同様の効果が得られる。この場合、X線を反射する多層膜は不要である。また、使用する金属製基板の熱膨張係数もX線光学系ほど小さい数値は要求されず、たとえば、可視光に対して用いる場合は $5 \times 10^{-6}/K$ 程度でよい。

【0034】

【発明の効果】以上のように本発明による反射鏡は、熱膨張係数の小さい金属製基板の表面にガラス製薄板を貼り合わせ、その表面を光学的に平滑に研磨してなるから、X線などの入射光の吸収による反射鏡の熱変形を従来の技術と比べて著しく小さく抑えることができ、高精度の光学系を提供できる。請求項4の反射鏡のように線膨張率が $1 \times 10^{-7}/K$ 以下である金属製基板を用い、しかも非晶質物質の薄膜の表面にX線反射多層膜を形成した反射鏡はX線光学系反射鏡として利用でき、たとえばX線縮小投影露光装置に使用すれば、表面に高強度のX線を照射しても熱変形によって光学系の結像特性が劣化することがない。したがって、X線投影露光装置の解像力を損なうことなくスループットを向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の反射鏡を示す図である。

【図2】基板の熱変形を説明する図である。

【図3】各種材料と熱伝導率、熱膨張係数、変形量を示す図である。

【図4】基板の表面粗さによる多層膜ミラーの反射率の低下を示す図である。

【図5】インバーに各種のガラス製薄板を貼り合わせた基板の変形量を説明する図である。

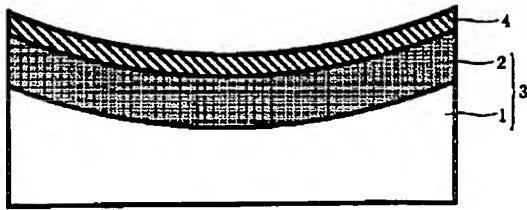
【図6】本発明に用いられる陽極接合の方法を示す図である。

【図7】本発明の第2実施例の反射鏡を示す図である。

【符号の説明】

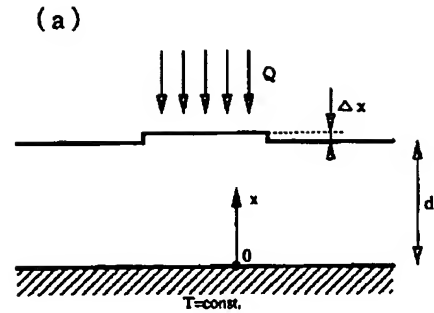
- 1 金属製基板
- 2 ガラス製基板
- 3 反射鏡基板
- 4 多層膜
- 5 ヒーター
- 6 電極
- 7 直流電源

【図1】

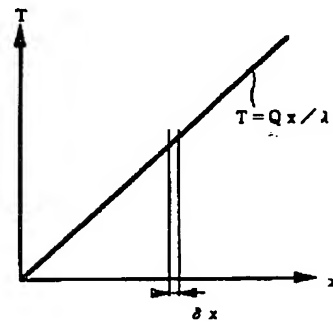


- 1: 金属製基板
2: ガラス製薄板
3: 基板
4: 多層膜

【図2】



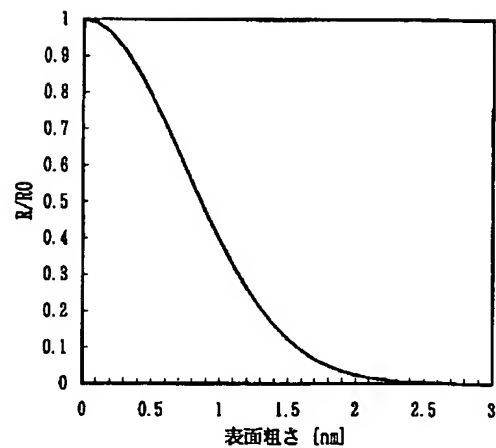
(b)



【図3】

材料	熱伝導率 [W/mK]	熱膨張係数 [1/K]	Δx [nm]
熔融石英	1.38	0.5×10^{-6}	45.3
Corning ULE	1.31	0.01×10^{-6}	0.954
Shott Zerodur	1.64	0.05×10^{-6}	3.81
SiC	270	3.7×10^{-6}	1.71
Si	123	2.33×10^{-6}	2.37
Invar	12.9	0.01×10^{-6}	0.097

【図4】



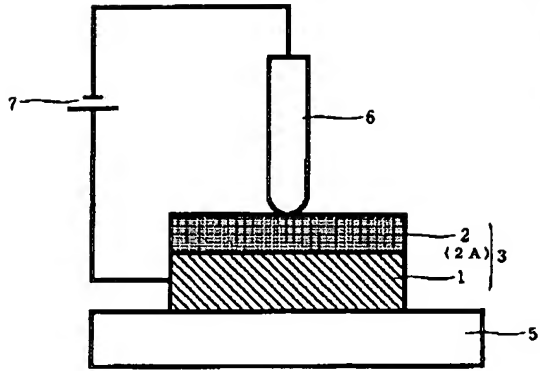
【図5】

基板	Δx [nm]
ULE 5mm/Invar 45mm	0.105
ULE 10mm/Invar 40mm	0.131
ULE 20mm/Invar 30mm	0.234
Zerodur 5mm/Invar 45mm	0.204
Zerodur 10mm/Invar 40mm	0.369
Zerodur 20mm/Invar 30mm	0.877
熔融石英 5mm/Invar 45mm	1.40
熔融石英 10mm/Invar 40mm	3.42
熔融石英 20mm/Invar 30mm	9.61

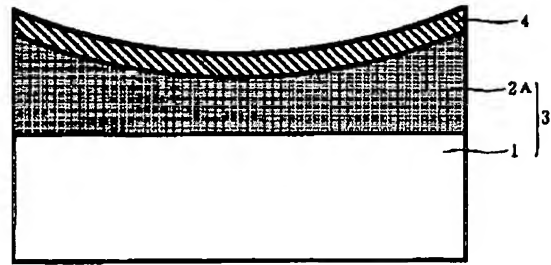
(7)

特開平8-68898

【図6】



【図7】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.